



ULUSLARARASI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI YARIŞMASI 2021
DETAYLI TASARIM RAPORU

TAKIM ADI: ALKAN İHA TAKIMI

ARAÇ TÜRÜ: DÖNER KANAT

ÜNİVERSİTE: ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

TAKIM KAPTANI: YASİN ENES ÇALIŞKAN

İÇİNDEKİLER

1. PROJE ÖZETİ	3
1.1 Tasarımda İzlenen Yöntem	3
1.2 Takım Organizasyonu	3
1.3 İş Akış Çizelgesi Planlanan ve Gerçekleşen	4
2. DETAY TASARIM	5
2.1 Tasarımın Boyutsal Parametreleri	5
2.2 Gövde ve Mekanik Sistemler	7
2.3 Aerodinamik, Stabilite ve Kontrol Özellikleri	10
2.4 Görev Mekanizması Sistemi	12
2.5 Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri	14
2.6 Hedef Tespit ve Tanıma Sistemi	16
2.7 Uçuş Performans Parametreleri	18
2.8 Hava Aracı Maliyet Dağılımı	19
2.9 Yerlilik	19

1. PROJE ÖZETİ

1.1 Tasarımda İzlenen Yöntem

Saka, Alkan İHA Takımı tarafından Uluslararası İnsansız Hava Araçları Yarışması döner kanat kategorisi için tasarlanmış ve montajı gerçekleştirilmiş bir hava aracıdır. Son derece dayanıklı karbon fiber yapıda gövdeye sahip olan Saka, merkezinde modüler ekipman yerleştirmeyi mümkün kılacak katlı yapılar bulundurmaktadır. Yere göre 45 derecelik açı ile konumlandırılmış karbon fiber yapıdaki iniş takımı ise stabil inişler sağlayarak kaza riskini minimize etmektedir. Üzerinde bulundurduğu uçuş kontrol ve görev bilgisayarları ile görev isterlerine uygun şekilde otonom olarak hareket etmektedir. Saka'nın elektronik ve kontrol bileşenleri, görevleri yüksek hassasiyette tamamlamaya imkan sağlayacak fiyat/performans ürünlerinden seçilmiştir.

Saka, yarışmada belirtilen her iki görev için de isterlere uygun şekilde otonom olarak hareket etmektedir. Ayrıca Saka, gövdesinde 2. görevi yerine getirmeye yönelik görev mekanizması da bulundurmaktadır. Belirtilen görevde kırmızı renkli su bırakma alanının görev bilgisayarı ve kamera sistemi ile görüntü işleme yapılarak tespiti sağlanmaktadır (bk. 2.6) Saka, görüntü işleme algoritması sayesinde edindiği koordinat bilgisini kullanarak hareket etmektedir. Su alma ve bırakma işlemleri için ise su pompası, su haznesi ve elastik borudan oluşan bir sistem kullanmaktadır. Saka, sahip olduğu görev mekanizması sayesinde su havuzundan güvenli bir yükseklikte haznesine su alabilmekte ve aldığı suyu yere iniş yapmadan bırakabilmektedir. Görev mekanizmasındaki (bk. 2.4) su pompalarının kontrolü de görev bilgisayarının otonom uçuş sırasında vereceği komutlarla sağlanmaktadır. Ayrıca görevler esnasında beklenmedik durumlarla karşılaşılması (motorların çok yüksek akım çekmesi veya motorların durdurulamaması gibi) halinde güvenliği sağlamaya yönelik akım kesici ve sigorta da güç sistemine entegre edilmiştir.

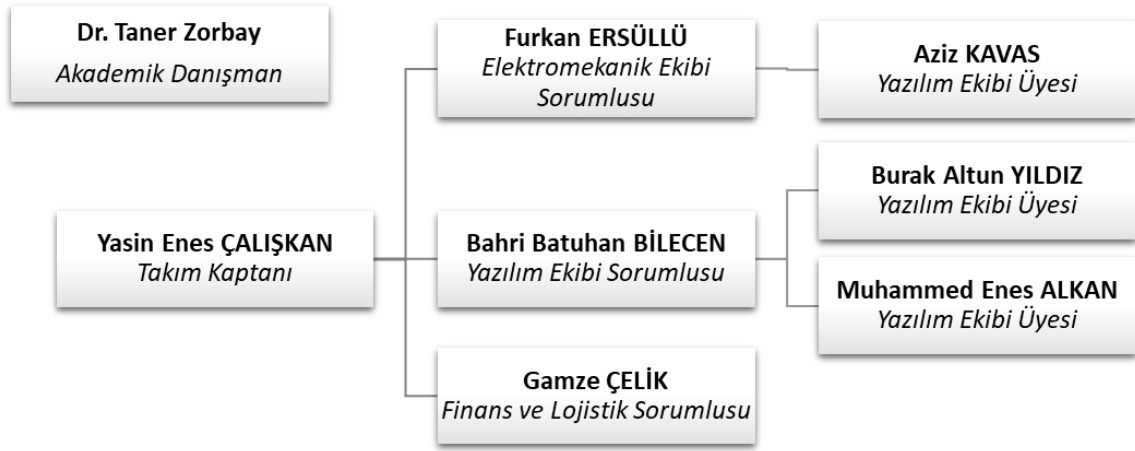
Saka'nın sunduğu performans parametreleri de yarışma şartnamesinde belirtilen isterlere uygundur. Dolayısıyla yüksüz olarak 4 kg altında (~3.2 kg) kütleye ve görevleri yerine getirebilecek şekilde 7 dakikanın üzerinde uçuş süresine sahiptir.

1.2 Takım Organizasyonu

Alkan İHA Takımı, otonom insansız hava araçları üzerine projeler geliştirmek ve ilerleyen süreçte bu alanda Türkiye'nin ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik çalışmalar yürütmek amacıyla kurulmuştur. Üyelerinin tamamı Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü 3. sınıf öğrencilerinden (Aziz Kavas – 4. Sınıf) oluşmaktadır. Takımın akademik danışmanı Dr. Taner Zorbay, ODTÜ Tarih Bölümünde görev yapmakta olup ilgi ve tecrübesi doğrultusunda takıma destek sağlamaktadır.

Takım organizasyonu, geleceğe yönelik projelerde de kolay görev dağılımı yapılabilmesi adına

takım üyelerinin ilgi alanına ve yeteneklerine göre oluşturulmuştur. Alkan İHA Takımına ait organizasyon şeması ve üyelerin görev dağılımları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Takım organizasyon şeması.

Alkan İHA Takımı, organizasyon şemasından da görüleceği üzere, takım kaptanı, akademik danışman, iki alt ekip ve finans & lojistik sorumlusundan oluşmaktadır.

Yazılım Ekibi Hava aracının görev isterlerine yönelik hareketini sağlayacak kontrol bileşenlerinden ve bu bileşenleri yönetmeye yönelik hedef tespit ve otopilot algoritmalarının oluşturulmasından sorumlu ekiptir. Ayrıca uçuş anında yer kontrol istasyonunun denetimi de bu ekibe aittir.

Elektromekanik Ekibi: Üretimi gerçekleştirilen hava aracının tasarımından, yapı malzemelerinin seçiminden, yapısal konfigürasyon ve teknik çizimlerinin oluşturulmasından; elektronik bileşenlerinin tercihinden, alt sistem testlerinden ve entegrasyonundan sorumlu ekiptir.

Finans ve Lojistik Sorumlusu: Takım kaptanı ve elektromekanik ekibi sorumlusu ile birlikte, hava aracının üretimi için belirlenen bileşenlerin ve malzemelerin maliyet araştırmasının yapılması ve temin edilmesinden sorumlu takım üyesidir.

1.3 İş Akış Çizelgesi Planlanan ve Gerçekleşen

Bu bölümde hava aracının tasarım ve üretim aşamasında planlanan (P) ve gerçekleşen (G) iş akışına ait çizelge verilmektedir.

İş Paketi Adı/Tanımı		Aylar/Haftalar				Şubat				Mart				Nisan				Mayıs				Haziran				Temmuz				Ağustos			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Görev Analizi ve Kavramsal Tasarım Raporunun Hazırlanması	P																																
	G																																
Tasarımın Yapısal Özellik ve Boyutsal Parametrelerinin Belirlenmesi	P																																
	G																																
Hava Aracı Elemanlarının Belirlenmesi ve Maliyet Hesabı	P																																
	G																																
Yapısal Konfigürasyon ve Teknik Çizimlerin Oluşturulması	P																																
	G																																
Otopilot ve Görüntü İşleme Algoritmalarının Oluşturulması	P																																
	G																																
Hava Aracı Elemanlarının Güncellenmesi	P																																
	G																																
Detaylı Tasarım Raporunun Hazırlanması ve Videoların Çekimi	P																																
	G																																
Hava Aracı Bileşenlerinin ve Yapı Malzemelerinin Temini	P																																
	G																																
Hava Aracı Gövde İskeletinin Yapısal Montajı	P																																
	G																																
Kontrol ve Güç Sistemleri Tasarımı, Hava Aracına Entegrasyonu	P																																
	G																																
Görev Mekanizmasının Tasarlanması ve Hava Aracına Entegrasyonu	P																																
	G																																
Alt Sistem Testlerinin Gerçekleştirilmesi ve Sonuçların Analizi	P																																
	G																																
Uçuş Testleri ve İyileştirmeler	P																																
	G																																

Tablo 1. Planlanan ve gerçekleşen üretim iş zaman çizelgesi.

İş akış çizelgesinde belirtilen iş paketleri, takım organizasyonuna uygun şekilde görev dağılımı yapılarak yerine getirilmiştir.

Tablo 1'deki çizelgeden görüleceği üzere bazı iş paketlerinin tamamlanması erken, bazılarının ise geç gerçekleşmiştir. Yaşanan gecikmelerde; elde edilen yeni maddi kaynaklardan dolayı malzeme seçimlerinin güncellenmesi, bazı malzemelerin Türkiye'deki stoklarının tükenmesi ve COVID-19 pandemisi nedeniyle takım üyelerinin bir araya gelmesinde yaşanan zorluklar etkili olmuştur. Evlerimizde kalmak zorunda olduğumuz dönemlerden ötürü özellikle teknik çizimlerin, otopilot ve görüntü işleme algoritmalarının oluşturulması beklenenden daha kısa sürmüştür.

2. DETAY TASARIM

2.1 Tasarımın Boyutsal Parametreleri

Bu bölümde, Saka'nın nihai tasarımının boyutlarına, ağırlık ve dengesine yönelik bilgiler verilmiştir.

Saka'nın çapraz motorlarının merkezleri arasındaki mesafe 510 mm olarak belirlenmiştir. Bu sayede gövdenin merkez üstüne GPS, uçuş kontrolcüsü vb. bileşenlerin yerleştirilmesi için geniş bir alan imkânı sağlanmıştır. Saka'nın boyutlarına ait ölçüler 2.2'de daha ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Saka'nın sahip olduğu tüm bileşenlerin kütleleri, Tablo 2'de verilmektedir. Bu değerler dijital hassas tartılar kullanılarak belirlenmiştir.

No	Bileşenler	Adet	Kütlesi (gr)	Adet	Toplam Kütle (gr)
1	Şase	545	1	545	
2	Motor	114	4	456	
3	ESC	27	4	108	
4	Batarya	798	1	798	
5	Pervane (Çift)	32	2	64	
6	GPS + GPS Çubuğu	53	1	53	
7	Güç Modülü	25	1	25	
8	Telemetri Modülü	29	1	29	
9	RC Alıcı + PPM Encoder	25	1	25	
10	Uçuş Kontrolcüsü	60	1	60	
11	Görev Bilgisayarı ve Kasası	172	1	172	
12	Kamera	20	1	20	
13	Sigorta + Sigorta Kutusu	69	1	69	
14	Akım Kesici	41	1	41	
15	Voltaj Regülatörü	17	1	17	
16	Motor Sürücü	25	1	25	
17	Su Pompası + 1m Su Borusu	134	1	134	
18	Su Haznesi	191	1	191	
19	300 ml Su (Taşınacak Miktar)	300	1	300	
Yüksüz Toplam				3132	
Yüklü Toplam				3432	

Tablo 2. Bileşen kütleleri.

Tablo 2'de listelenmiş olan bileşenlerin hava aracı üzerindeki dağılımı oldukça önem arz etmektedir. Hava aracına ait ağırlık merkezinin, geometrik olarak tam merkezde bulunması; motorlara eşit güç dağılması ve uçuşun stabil bir şekilde gerçekleşmesi için önemlidir. Tasarımda, bileşenlerin çoğunun merkezi olarak konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. Bileşenleri merkezi olarak konumlandırabilmek adına özgün tasarım olarak sunulan katlı sistemden yararlanılmıştır. Konumları merkezi olmayan bileşenler ise (motorlar, ESC'ler ve iniş takımı gibi) simetrik olarak yerleştirilmişlerdir.

Bahsi geçen bileşenlerin pozisyonları, kullanılan bilgisayar destekli dizayn programından yararlanılarak hesaplanmıştır. Orijin noktası, Saka'nın alt plakasının alt yüzeyinin merkezinde yer almaktadır. Kullanılan koordinat sisteminde XY düzlemi gövdede kullanılan karbon fiber plakalara, Z eksenine ise plakaların normaline paralel olacak şekilde belirlenmiştir. Belirtilen şekilde koordinat sistemi oluşturulduktan sonra **Tablo 3'**de verilen ölçümler elde edilmiştir.

No	Parça Adı	Ağırlık (gram)	X uzaklığı (mm)	Y uzaklığı (mm)	Z uzaklığı (mm)
1	Motor 1	114	180,594	-180,594	85
2	Motor 2	114	180,594	180,594	85
3	Motor 3	114	-180,594	-180,594	85
4	Motor 4	114	-180,594	180,594	85
5	ESC 1	27	100	-100	66
6	ESC 2	27	100	100	66
7	ESC 3	27	-100	-100	66
8	ESC 4	27	-100	100	66
9	Batarya	798	-0,054	14,868	31
11	Pervane 1	16	180,594	-180,594	118,184
12	Pervane 2	16	180,594	180,594	118,184
13	Pervane 3	16	-180,594	-180,594	118,184
14	Pervane 4	16	-180,594	180,594	118,184
15	GPS ve GPS Çubuğu	53	-1,038	76,816	205
16	Telemetri Modülü	29	59,121	0	102,525
17	RC Alıcı ve PPM Encoder	25	-47,44	-8,64	91,684
18	Uçuş Kontrolcüsü	60	0	0	93
19	Görev Bilgisayarı	172	0	0	-2
20	Akım Kesici	41	0	-82	86
21	Sigorta ve Kutusu	69	-65	51,25	22
22	Voltaj Regülatörü	17	59,121	0	3
23	Kamera	20	-1,038	76,816	80
24	Motor Sürücü	25	43	4,2	1
25	Su Haznesi	191	0,04	10,108	-13
26	Su Pompası	134	-5	-28,5	-300
27	Kütle Merkezi	3132	-1,589	7,655	48,424

Tablo 3. Bileşenlerin koordinat düzlemine göre pozisyonları.

Tablo 3'de verilen değerlere göre hesaplama yapıldığında Saka'nın ağırlık merkezi, tam olarak Saka'nın kuş bakışı görünümünün merkezine yakın bir noktada çıkmaktadır.

2.2 Gövde ve Mekanik Sistemler

Bu bölümde Saka'nın gövde ve mekanik sistemleri için gerçekleştirilen özgün tasarım çalışmalarından bahsedilmektedir.

2.2.1 Gövde: Döner kanatlı insansız hava araçlarını oluşturan her türlü ekipman ve sistemin yerleştirildiği ana iskelet, gövde olarak adlandırılmaktadır. Şaseler, ana yapı malzemesi, boyutları ve kol sayılarına göre farklılık göstermektedirler.

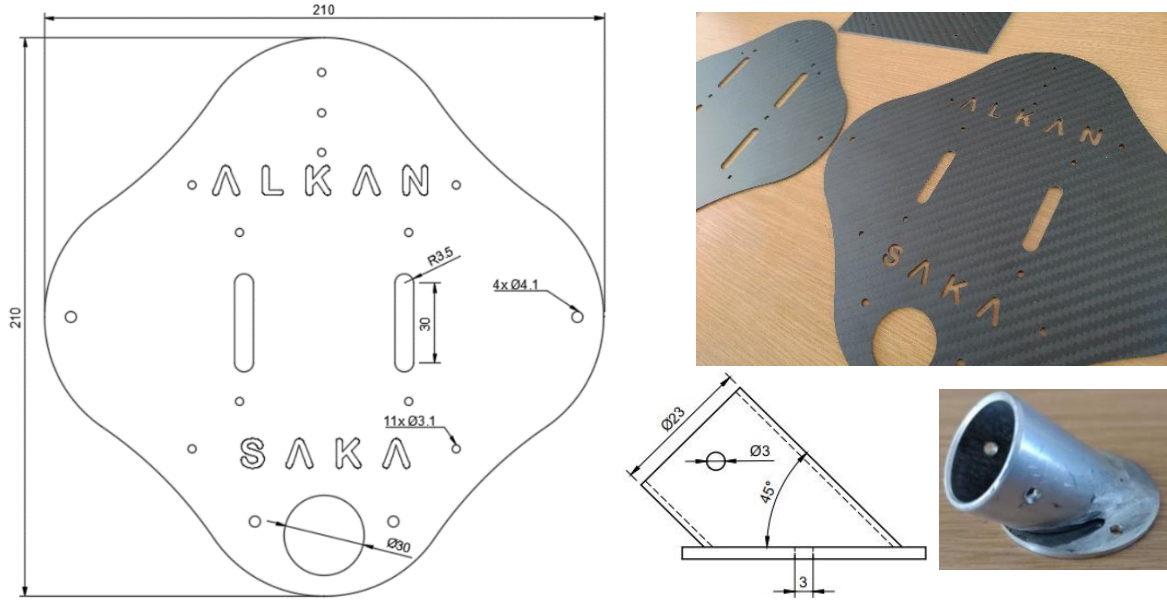
Yapı Malzemesi: Hava araçlarının başarılı bir uçuş gerçekleştirebilmeleri için hafif ve uygun aerodinamiğe sahip olmaları gerekmektedir. Uçuşlarda gerçekleştirebilecek kazalarda kırılma ve parçalanmaların yaşanmaması için kullanılan malzemenin dayanıklılığı da göz ardı edilmemelidir. Belirtilen faktörler göz önünde bulundurulduğunda maliyetli olmasına rağmen hafif ve dayanıklı olmasından ötürü karbon fiber yapı malzemelerinin, bunların montajı için ise

kolay işlenebilir ve hafif olmasından dolayı alüminyum parçaların kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 3).

Saka'nın kollarının oluşturulmasında dış kenar uzunluğu 18 mm, iç kenar uzunluğu 16 mm olan karbon fiber profiller tercih edilmiştir. İniş takımında ise yere iniş esnasında yaşanabilecek çarpmalara karşı daha dayanıklı olacağından dış çapı 20 mm, iç çapı 18 mm olan karbon fiber borular tercih edilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan alüminyum ve karbon fiber parçalar.



Şekil 2. Özgün karbon fiber plaka ve alüminyum aparatın teknik çizim ve fotoğrafı.

Elektronik elemanların ve görev mekanizmasının yerleştirileceği merkez bölümündeki katlarda ise 1.5 mm kalınlığında, tasarımı tamamen Alkan Takımına ait olan karbon fiber plakalar kullanılmıştır. Plakalar CNC (Computer Numerical Control) makinesi yardımı ile kestirilmiştir. Kollar gövdeye, motorlar ise kollara somun ve cıvatalar kullanılarak matkap aracılığı ile açılmış deliklerden sabitlenmiştir. İniş takımı için kullanılan boruların gövdeye sabitlenmesinde de Alkan Takımı tarafından tasarlanıp ürettirilen alüminyum aparatlar kullanılmıştır.

Karbon fiber plakalar üzerindeki kelimeler tamamen estetik amaçlı işlenmiş olup özgün tasarım adına imza niteliği taşımaktadır (Şekil 2).

Boyut: Büyük çaplı dron şaseleri, temel parçalar dışında kamera, gimbal ve görev için kullanılacak mekanizma gibi ekipmanları yerleştirmek için ideallerdir fakat boyutlardaki bu artış manevra kabiliyetinde azalmaya neden olmaktadır. Gereksiz yük oluşturmama amacı ile,

A black and white photograph of a four-legged stool. The seat is square with a central pedestal and four legs. The seat has a textured surface with some white markings. The legs are dark and slightly curved. The stool is shown from a slightly elevated angle.

A 3D model of a four-legged table. The table has a square top with rounded corners, a perforated metal texture, and a cross-shaped base. The number '5447' is printed on the top surface. The model is shown from a perspective view.

fiber boru kullanılmıştır. Boru bağlantı aparatları, bacaklar için kullanılan karbon fiber boruların yerle 45 derecelik açı yapmasını sağlayacak şekilde alüminyumdan üretilmiştir. İniş takımını

Merkezde bulunan gövde yapısı üç kattan oluşmaktadır. Merkez bölümü farklı katlara ayrılarak yaşanabilecek kazalara karşı güvenliğin artırılması ve bileşenlerin oluşacak elektromanyetik gürültüden etkilenmesinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Bu üç kat, tasarımı Alkan'a ait olan karbon fiber plakaların alüminyum sütunlar vasıtasıyla aralıklı olarak üst üste yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 7). Kullanılan alüminyum sütunlar, istenilen ölçülere göre tasarlanıp torna makinesinde üretilmiştir.

9

merkeze bağlayan bu aparatlar, en alt plakanın alt yüzeyine vidalar ile monte edilmiştir (Şekil 6). İnişin yumuşatılması için bacakların uçlarına yumuşak izolasyon köpüğü kelepçeler aracılığı ile sabitlenmiştir.

2.3 Aerodinamik, Stabilite ve Kontrol Özellikleri

Bu bölümde, Saka'nın uçuş gereksinimleri belirlenmekte olup bu gereksinimleri karşılamaya yönelik pervane seçim kriterleri ve seçilen pervanenin aerodinamik katsayıları verilmektedir. Ayrıca stabilite ve kararlılık analizleri yapılmış ve hareket kontrol elemanlarının üretim ayrıntıları verilmiştir.

Hava Aracı Gereksinimleri: Üretilen hava aracının belirtilen görevlere uygun şekilde hareket etmesi ve bu hareketini istenilen süre içerisinde gerçekleştirmesi gerekmektedir. Hava aracının itki sisteminin;

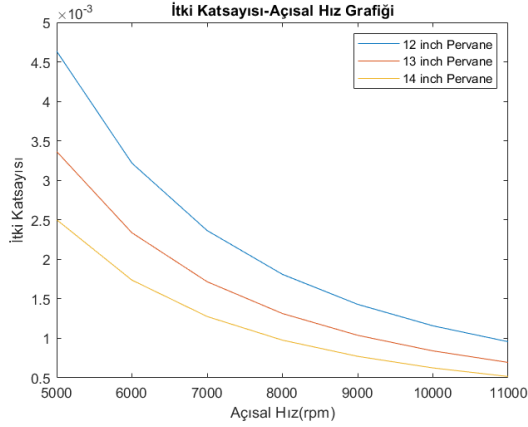
- Hava aracı gövde boyutlarına uyumlu olması,
 - Güvenli bir uçuş için hava aracının ağırlığının yaklaşık iki katı kadar itkiyi sağlaması,
 - Belirtilen görevlerde en az maksimum uçuş süresi (5 dk) boyunca yeterli itkiyi sağlaması,
 - Uçuş süresi boyunca deformasyonlara karşı dayanıklı olması,
- gerekmektedir.

Pervane Seçimi: Pervane, belirtilen gereksinimlerin karşılanması için seçilen itki sistemi unsurlarından birisidir. Hava aracının kollarının uzunluğu (motorlar arası mesafe), pervane seçiminde kısıtlayıcı bir etkiye sahiptir. 510 mm gövde boyutuna sahip olan Saka'da motorlar arası en yakın mesafe 359.9 mm olduğu için 14 inç (355.6 mm) gibi bir uzunluğa kadar pervane seçimi gerçekleştirilebilmektedir.

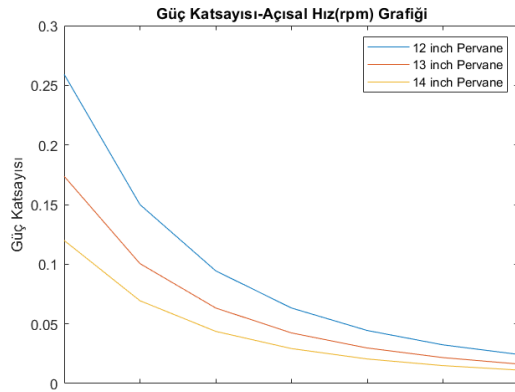
Saka yaklaşık olarak 3.2 kg kütleyle (görev esnasında taşınacak su ile birlikte) sahiptir. Güvenli bir uçuş için X tipi bir quadcopter yapısına sahip olan Saka'nın her motoruna yaklaşık 1.6 kilogramlık itki düşmektedir. Seçimi gerçekleştirilen **Sunnysky X4108S KV480** fırçasız motorun kataloğuna bakıldığında 12*3.8, 13*4 ve 14*4.7 boyutlarında APC marka iki palli pervane önerilerine rastlanmaktadır. Bu boyutlarda pervaneler ile yapılan test sonuçlarına göre 13*4'lük boyuta sahip olan pervanenin seçilen motor ile daha verimli bir performans sağladığı sonuçları 3.2.7'de verilen motor itki testlerinde, gerekli itkinin sağlandığı gözlemlenmiş, 13*4 boyutlarındaki pervanenin seçilen batarya ve motorlar ile minimum 5 dakikalık uçuş süresini sağladığı görülmektedir.

Ayrıca dayanıklılık gereksinimini sağlayabilmek için ağırlık bakımından ahşap pervanelerden daha hafif, esnemelere karşı ise plastik pervanelerden daha kararlı bir yapıya sahip karbon fiber pervaneler seçilmiştir.

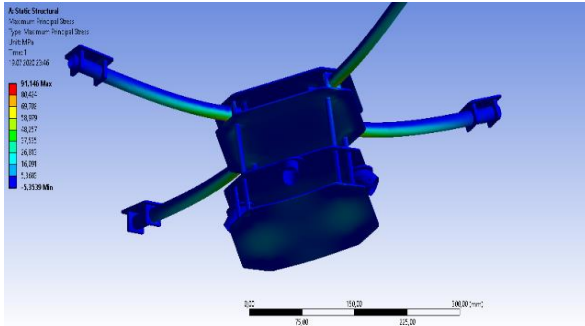
Aerodinamik Katsayılar: Karbon fiber bir pervanenin aerodinamik katsayılarının hesaplanması için kullanılan formüller aşağıdaki gibidir (T:itki, n:açısal hız, D:pervane çapı, ρ :hava yoğunluğu, P:güç)



Şekil 8. İtke-açısal hız grafiği.



Şekil 10. Güç-açısal hız grafiği.



Şekil 9. Stabilite analizi.

$$\text{İtke katsayısı: } C_T = \frac{T}{n^2 D^4}$$

Seçilen 13 inçlik (0.33 m) pervaneye ait itke katsayısı, hava aracının havada asılı kalması için gereken motor dönüş hızında (~6000 RPM) ve bu dönüş hızında oluşan itkide (~1000 g) incelediğimizde $C_T = 0.024$ olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Güç katsayısı: } C_P = \frac{P}{\rho n^3 D^5}$$

Aynı şekilde seçilen pervane, aynı itkiyi oluştururken harcanan güçte (0.14 HP= 104.4 W) ve standart hava koşullarında ($\rho=1.225 \text{ kg/cm}^3$) incelendiğinde $C_P=0.1$ olarak hesaplanmaktadır. (Hesaplamalarda kullanılan değerler, seçilen pervaneye ait katalogdan elde edilmiştir.

Stabilite ve Kararlılık: Yapılan analiz sonucu Saka'da ortaya çıkan en büyük basınç Şekil 9'da görüldüğü üzere **91.146 MPa** olarak hesaplanmıştır. Kullanılan karbon fiber malzemenin dayanabildiği maksimum basıncın 2800 MPa olduğu göz önünde bulundurulduğunda, Saka'nın uçuş esnasında oluşabilecek herhangi bir yüksek basınç durumunda stabil bir şekilde kaldığı ve kararlı bir uçuşa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Hareket Kontrol Elemanları: Saka sahip olduğu 4 motorun sağladığı itkilerle yükselme, dönme vb. hareketleri yapmaktadır. Bu kapsamda hava aracının hareketi temel olarak motorlar tarafından kontrol edilmektedir. Seçilen **Sunnysky X4108S KV480** fırçasız motorlar üretici firma tarafından gerekli güvenlik şartları gözetilerek tasarlanmış ve çelik statorlar üzerine 180° sıcaklığa kadar dayanıklı mıknatıslar kullanılarak üretilmiştir. Bu kapsamda kullanılan motor Avrupa Birliğinin yayınladığı teknik mevzuata uygun kalitede ve güvenlikte üretilmiş olup CE belgesine sahiptir.

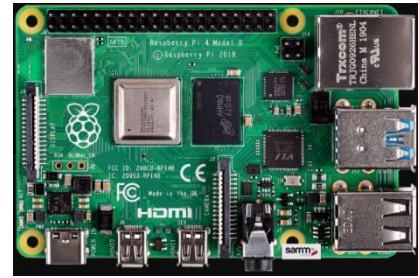
2.4 Görev Mekanizması Sistemi

Raporun bu kısmında, ikinci görevin gerçekleştirilmesinde kullanılacak mekanizmaya ait ayrıntılara yer verilmiştir.

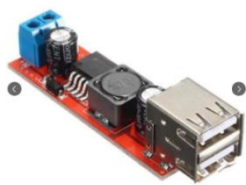
İkinci görev, birbirine bağlı sıralı iki uçuştan oluşmaktadır. İlk uçuşta Saka otonom olarak parkur üzerinde uçacak ve kırmızı renkte olan su bırakma alanını tespit edip koordinatlarını hafızasında depolayacaktır. Kalkış noktasına döndükten sonra ikinci uçuşa devam edecek ve otonom olarak koordinatları önceden verilmiş olan su alma alanına giderek üzerinde bulunan mekanizma ile haznesine su pompalayacaktır. İstenilen miktarda suyu haznesine depoladıktan sonra tekrar yükselecek ve bir önceki uçuşta koordinatlarını saptadığı su bırakma alanına intikal edecektir. Bu alana haznesindeki suyu boşalttıktan sonra kalkış noktasına dönecek ve ikinci görevi tamamlayacaktır.

Belirtilen görevi gerçekleştirecek mekanizma iki ayrı bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm; su bırakma alanını tanımak için oluşturulan görev bilgisayarı ve ona bağlı kameradan oluşmaktadır.

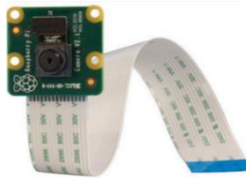
Görev bilgisayarı olarak quad-core Cortex-A72 (ARM v8) işlemciye ve 4GB DDR4 RAM'e sahip, hafif ve güç tüketimi düşük olan **Raspberry Pi 4B** kullanılmıştır. Kırmızı havuz tespitinde Pi 4'ün işlemcisini zorlamayan, renk filtreleme fonksiyonlarını ve kullanılacak görüntü işleme algoritmalarını içeren OpenCV kütüphanesi tercih edilmiştir (bk. 2.6). Pi 4'e bağlı kameradan gelen veriler, Pi 4'teki görüntü işleme algoritmalarıyla işlenmekte ve MAVLink protokolü aracılığıyla uçuş bilgisayarına komutlar gönderilmektedir. Komutlarla kırmızı su bırakma alanına Saka'nın yaklaşması sağlanmaktadır.



Şekil 11. Raspberry Pi 4B.



Şekil 12. LM2596.



Şekil 13. RPi4 V2 kamera. bulunmektedir. Kamera direk aşağı bakacak şekilde (nadir) görev bilgisayara bağlanmıştır.

Mekanizmanın diğer bölümü ise havuzdan suyu alacak ve kırmızı bölgeye suyu bırakacak sistemden oluşmaktadır.



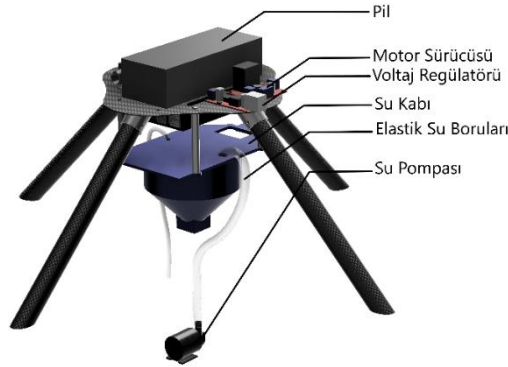
Şekil 15. L298N.



Şekil 14. Su pompası.

Hava aracında alınacak suyu depolayabilmek için tasarımı Alkan'a ait olan ve 3D yazıcıda bastırılan bir su haznesi bulunmaktadır. 300cm³ iç hacmine sahip olan su haznesi, Saka'ya entegre edilmiştir. Görevde 250ml suyun 80cm gibi güvenli bir yükseklikten su haznesine alınabilmesi için 2m yüksekliğe kadar 280 L/h hızda su pompalayabilen **12V mini dalgıç su pompası** kullanılmaktadır (bkz. 2.5). Su pompası, elastik borular ile hava aracından sarkacak şekilde konumlandırılmaktadır. Bu pompanın göreve uygun şekilde çalıştırılabilmesi için **L298N motor sürücü kartına** bağlanmıştır. Motor sürücü kartı, görev bilgisayarından sinyaller alarak su pompasının istenilen zamanda, istenilen süreyle çalışmasını sağlamaktadır.

Alınacak ve boşaltılacak suyun transferini sağlamak için iki parçadan oluşan, 8mm iç çapa ve toplamda 2 m uzunluğa sahip olan esnek plastik su boruları kullanılmıştır. İki su borusundan ilki havuzdan araca pompalanacak suyun hazneye aktarımını, ikincisi ise yaşanabilecek taşmalara ve oluşabilecek hava basıncına karşı tahliye borusu olarak kullanılmaktadır. Saka'nın suyu asıl boşaltma yolu ise su kabının altında bulunan servo motorlu valf sistemi aracılığı ile olur. Belirtilen su boruları ve servo motorlu valf sistemi Şekil 16'da gösterildiği gibi hava aracının aşağısında bulunan su pompasıyla birlikte sarkacak şekilde yerleştirilmiştir.

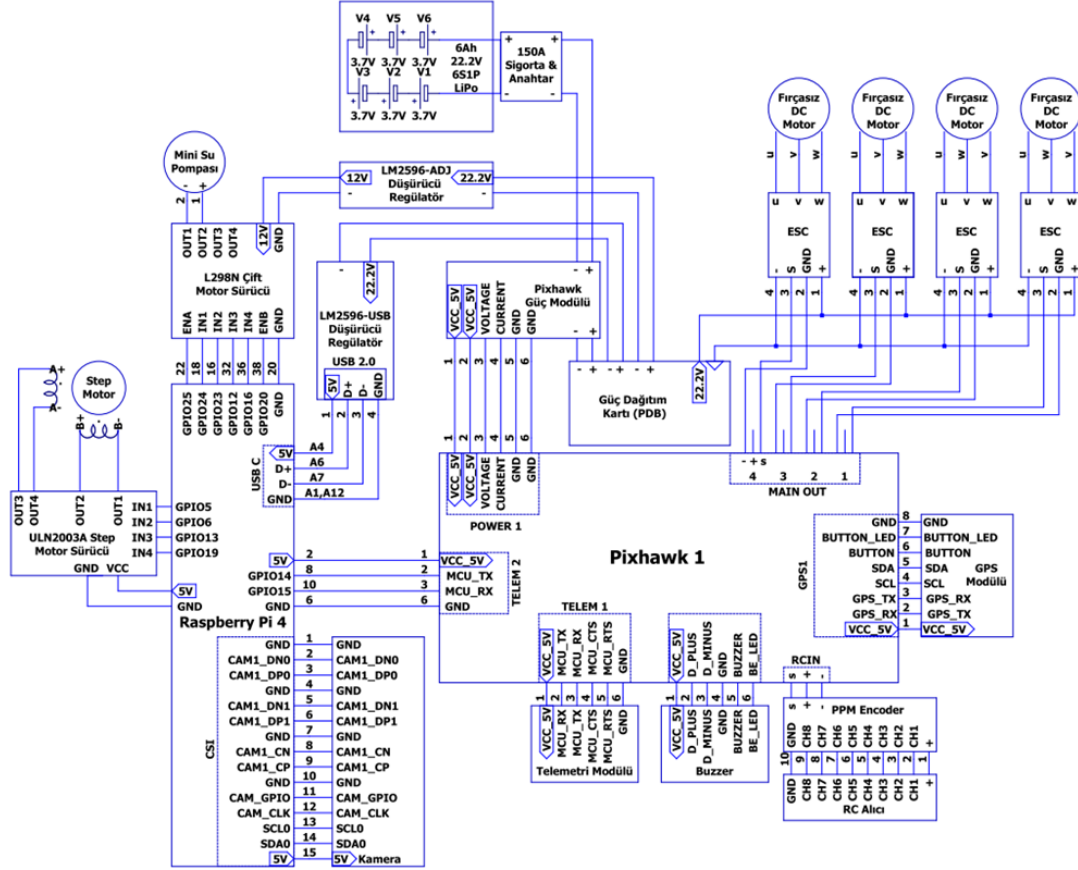


Şekil 16. Su alım ve atım mekanizması.

Saka, havuzdan suyu alabilmek için daha önceden verilen koordinatlara ulaşım sağladıktan sonra suyu alabileceği irtifaya kadar alçalacaktır. Alçalma gerçekleştikten sonra 15 saniye suyun içine giren su pompası çalıştırılacaktır. Saka, su pompasının çalışma süresi dolduktan sonra daha önce görüntü işleme ile belirlenen kırmızı renkli bölgenin bulunduğu koordinatlara yönelecektir. Saka, hedef koordinata ulaştığında su kabının altında bulunan valfi, valfin içindeki sızdırmaz tıkaçı, tıkaçı bağlı servo motor döndürme suretiyle açarak suyun boşalmasını sağlayacaktır.

2.5 Elektrik Elektronik Kontrol ve Güç Sistemleri

Bu bölümde elektrik ve elektronik sistemin bağlantı şeması verilmiş, kontrol ve güç sistemleri bileşenlerinin teknik detayları açıklanmış, otonom görevin yöntemiyle ilgili bilgi verilmiştir. Saka'nın LTSpice ile çizilen bağlantı şeması, Şekil 17'de yer almaktadır.



Şekil 17. Saka'nın elektrik ve elektronik bağlantı şeması.

Güç Sistemleri: Saka'nın görevleri zamanında yerine getirebilmesi için bir adet **Gens Ace 6S1P, 6Ah, 22.2V, 35C LiPo batarya** tercih edilmiştir. LiPo bataryadan gelen 22.2V iki adet güç dağıtım kartına iletilmiştir. İlk güç dağıtım kartı, alt sistemleri (bk. 2.4) beslemek üzere **USB çıkışlı LM2596 düşürücü voltaj regülatörü**, **ayarlanabilir LM2596 düşürücü voltaj regülatörü** ve **XT60 çıkışlı Pixhawk güç modülüne** bağlanmıştır. İkinci güç dağıtım kartı ise motorları beslemek üzere yerleştirilmiştir. Güç sistemleri bileşenlerinin yerleşimi Şekilx'te verilmiştir.

Su alım pompası: Su alımında bir adet QE30E dalgıç su pompası, atımında ise step motor tercih edilmiştir (bk. 2.4). Tablo 4'te pompanın özellikleri verilmiştir.

Dalgıç pompa	Çalışma gerilimi (V)	Çalışma akımı (mA)	Akış hızı (L/dk)	Güç tüketimi (W)	Su basma yüksekliği (cm)	Kütle (g)	Fiyat (₺)
QR30E	10-14	380-420	4	4.2	280-320	50	55

Tablo 4. Dalgıç su pompası özellikleri.

Motorlar: Sunnysky X4108S KV480 fırçasız motorların kullanılmasına karar verilmiştir. Motorlar, 13"4.0 pervanelerle birlikte kullanıldığında gerekli itkiyi sağlayacaktır. Motorla ilgili ayrıntılar Tablo 5'te, pervane tercihi ile ilgili detaylar ise 2.2'de verilmiştir.

Özellikler	Değerler	Prop (inç)	Volt (V)	Amper (A)	İtki (g)	Güç (W)	Verim (g/W)
Stator çapı	40.6mm	1340	22.2	1	230	22.2	10.36
Stator kalınlığı	8mm			2	410	44.4	9.23
Stator kol sayısı	24			3	570	66.6	8.56
Stator kutup sayısı	22			4	720	88.8	8.11
Motor Kv'si	480			5	870	111	7.84
Yüksüz akım (A/10V)	0.4A			6	980	133.2	7.36
Motor direnci	178mΩ			7	1110	155.4	7.14
Maksimum sürekli akım	18A/30S			8	1210	177.6	6.81
Maksimum sürekli güç	448W			9	1310	199.8	6.56
Kütle	112g			10	1440	222	6.48
Dış çap	46.1mm			11.7	1620	259.7	6.24
Mil çapı	3.175mm						
Gövde uzunluğu	25.5mm						
Genel mil uzunluğu	34mm						
Maksimum LiPo hücre	6S						

Tablo 5. Sunnysky X4108S KV480 fırçasız motorun özellikleri.

ESC: Elektronik hız kontrolcüler (ESC), motorların ihtiyaç duyduğu itkiyi karşılayacak şekilde sürülmesini sağlayan ekipmanlardır. ESC tercihi olarak **Hobbywing X-Rotor 40A OPTO Drone** tercih edilmiştir. Battery Elimination Circuit (BEC) alternatifler yerine Optoisolator (OPTO) kullanılarak 5V/3A ekstra çıkıştan kurtulmuş, güç tasarrufu sağlanmıştır. ESC detayları Tablo 6'da yer almaktadır.

Sürekli maksimum akım (A)	Anlık maksimum akım (A)	BEC	LiPo	Kütle (g)	Ürün ebatları (mm)
40	60 (10sn.)	Yok	2-6S	26	56x52x47

Tablo 6. ESC özellikleri.

Telemetri: Yer kontrol istasyonu ile uçuş kontrol kartı arasındaki iletişimi sağlayan **3DR 344MHz Telemetri**, -121dBm alıcı hassaslığına sahip olup yaklaşık 1.5km'lik menzil sağlamaktadır. İletişimde kullanılacak olan MAVLink protokol iskeletine sahip olan 3DR telemetri, yaklaşık 19 gram ağırlığa sahiptir. Görevler için yeterli bir tercihtir.

RC Kumanda ve Alıcı Modülü: Fiyat/performans ürünleri olan **10 kanallı, 2.4Ghz Flysky FS-İ6X kumanda ve Flysky iA10B alıcı**, 20 dBm radyo frekans gücü ve yaklaşık 500m menzil sağlar.

Uçuş Kontrol Kartı, Görev Bilgisayarı ve Sensörler: Uçuş kontrol kartı olarak **Pixhawk 1** tercih edilmiştir. Pixhawk 1; Kavramsal Tasarım Raporu'nda belirtildiği üzere fiyat/performans ürünü olan, birçok sensör ve özellik barındıran bir uçuş kontrol kartıdır. **Radiolink SE100 GPS** ile birlikte kullanıldığında oldukça hassas konum bilgisi sunabilen Pixhawk 1, otonom uçuş

görevleri için yeterli olacaktır. Görev bilgisayarı olarak ise **Raspberry Pi 4**'ün kullanılması hedeflenmiştir. Pi, görüntü işleme kodunun çalışması ve Pixhawk 1'e otonom komut yollamak için kullanılacaktır. Tablo 7 ve Tablo 8'de Pixhawk 1 ve Radiolink SE 100 GPS'in özellikleri verilmiştir.

Sensörler	•ST Micro L3GD20 3-axis 16-bit jiroskop •ST Micro LSM303D 3-axis 14-bit IMU
Kütle	60g
İşlemci	•STM32F427 Cortex M4 core with FPU •NuttX Real Time Operating System

Tablo 7. Pixhawk 1'in özellikleri.

İlk düzeltme zamanı	Soğuk başlangıç: 26s Sıcak başlangıç: 1s
Hassasiyet	Takip ve Navigasyon:-167dBm Sıcak başlangıç:-159dBm Soğuk başlangıç:-151dBm
Çalışma Sıcaklığı	-40°C - 85°C
Kütle	34.9g
Boyutlar	49x43x16mm

Tablo 8. Radiolink SE100 GPS'in özellikleri.

Otonom Görev Yazılımı ve Yöntemi: Görevler için Pixhawk 1 ile uyumlu, birçok otonom uçuş modunu destekleyen ve Failsafe gibi çeşitli güvenlik önlemlerini barındıran **ArduPilot** uçuş kontrol yazılımı kullanılacaktır. Görevler, ArduPilot'un Guided modu kullanılarak gerçekleştirilecek; Guided modu için gereken MAVLink mesajları otonom olarak Raspberry Pi 4'ten **DroneKit** kullanılarak yollanacaktır. **DroneKit**; Python dilinde yazılmış, MAVLink mesajlarını kullanarak Pixhawk ile Pi arasındaki iletişimi sağlayabilen kullanıcı dostu bir uygulama programlama arayüzüdür. İlk görevde için Mission Planner üzerinden sahada rota planlanacaktır. İkinci görev için algoritma detayları ise 2.6'da verilmiştir.

2.6 Hedef Tespit ve Tanıma Sistemi

Bu bölümde, su bırakma alanının tespit edilmesine yönelik kullanılan algoritma ve kullanılan donanım hakkında bilgilere yer verilmektedir.

Görüntü işlemenin uygulanması, Raspberry Pi 4 ve ona uyumlu RPi Camera V2 ile gerçekleşmektedir. Kamera aracılığı ile elde edilen görüntü, Raspberry Pi 4 üzerinde işlenir ve elde edilen işlevsel veriler otonom hareket için kullanılır. Görüntü işleme algoritmasının ana çalışma mantığı, dairesel kırmızı alanının konumunu belirleyip otopilot sistemine kullanılabilir bir veri iletmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için kullanılan algoritma, **Python 3.7** programlama dili ve **OpenCV 4.3.0.36** kütüphanesi ile yazılmıştır. Algoritma; **renk filtreleme, boyut filtreleme, en büyük objeyi bulma ve obje etrafına çember çizme** olarak 4 başlıktan

oluşmaktadır.

Renk Filtreleme: Kameradan alınan görüntü öncelikle BGR (Blue-Green-Red) uzayından HSV (Hue-Saturation-Value) uzayına dönüştürülmektedir. Ardından *cv2.inRange()* fonksiyonu ile HSV uzayında iki farklı kırmızı renk spektrumu olmasından dolayı iki adet siyah-beyaz maske oluşturulmaktadır. Bu maskeler *cv2.bitwise_or()* fonksiyonu ile birleştirilip gerçek maske elde edilmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Renk filtreleme.

Kullanılmakta olan kamera, hedef düzlemden 2 metre uzaklıkta iken 2.0 metre eninde ve 1.33 metre boyunda bir dikdörtgensel bölge görmektedir. Saka, görevi 7 metre irtifada gerçekleştireceğinden dolayı kameranın hedef düzlemde gördüğü alan artacaktır. Thales teoreminden yararlanarak kameranın görüş alanının 7.0 metre eninde ve 4.655 metre boyunda olduğu ve kırmızı su bırakma alanının, görüş alanının %15.06'sına denk geldiği hesaplanmıştır.

Boyut Filtreleme: Maskenin optimizasyonu ve hatalı tespiti yol açabilecek küçük lekelerin yok edilmesi için bir boyut filtresi uygulanmaktadır. Küçük boyutlardaki kırmızı alanların filtrenmesi için maske ile *cv2.connectedComponentsWithStats()* fonksiyonu kullanılarak bütün lekelerin boyutları belirlenmekte olup filtre limiti, ekranın %10'undan daha düşük alan kaplayan kırmızı alanları görüntüden silecek şekilde hata payı bırakılarak seçilmiştir. Bu sayede Şekil 19'de görüldüğü üzere filtreleme gerçekleştirildikten sonra karmaşıklığa yol açacak küçük kırmızı alanlar yok edilmiştir.



Şekil 19. Boyut filtreleme.

En büyük objeyi bulma: Görüntüden alınan cisimlerin arasından en büyük olanının seçilmesi için filtrelenmiş maskenin *cv2.findContours()* fonksiyonu ile maskede bulunan tüm cisimlerin sınırları belirlenmektedir. Ardından *max()* ve *cv2.contourArea()* fonksiyonları ile maskede bulunan en büyük alan tespit edilmektedir.

Çember çizme: Maskede tespit edilen en büyük alan *cv2.minEnclosingCircle()* ile çember içerisine alınmakta (Şekil 20) ve bu çemberin yarıçapı ile merkez koordinatları belirlenmektedir. Görev esnasında, su bırakma alanının belirli bir hat üstünde olması sayesinde kırmızı alan;

kameranın görüş açısına, ekranın merkezinden geçen bir doğrultuda girecektir. Kırmızı alanın merkezi, ekranın orta noktasına belirli bir mesafeden daha yakın bulunduğu hedef tespit edilmiş olacaktır.



Şekil 20. En büyük objeyi bulma ve çember içine alma.

2.7 Uçuş Performans Parametreleri

Bu başlık altında tasarımına ait uçuş performansını gösteren parametreler ve onların hesaplamaları verilmiştir.

Güç Tüketim Analizi: Tam itki durumunda Saka'nın güç tüketimi Tablo 9'da verilmiştir.

Bileşen	Akım (mA)
RPi4	3000
Dalgıç su pompası	400
Fırçasız motorlar	46800
Diğer elemanlar	275
Toplam	50475

Tablo 9. Elektronik ekipmanların çektiği maksimum akımlar.

Toplam akımın 50.475 A ve görev-2 için ayrılan sürenin 5 dk olduğu düşünülürse, %85'lik deşarj altında, $50.475A \times \frac{1}{12} h \times \frac{100}{85} = 5Ah$ 'lik bir batarya yeterli olacaktır.

Uçuş Süresi Analizi ve Motor Verimi:

Uçuş süresi $t_{as,az} = \%D \frac{K}{4A_{az,as} + A_{ek}}$ şeklinde hesaplanabilir. Seçilen batarya kapasitesinin 6Ah olduğu düşünülürse aracın azami havada kalma süresi görevler için sırasıyla 7.3 ve 6 dk'dır ($A_{az,as}$: bir motorun akımı ve A_{ek} : motor harici akım) deneysel olarak elde edilmiştir).

$$t_{1az} = \%85 \frac{6Ah \times \frac{60dk}{h}}{4 \times 9.54A + 3.675A} = 7.3 dk, t_{2az} = \%85 \frac{6Ah \times \frac{60dk}{h}}{4 \times 11.7A + 3.675A} = 6 dk$$

Azami uçuş ağırlığı görev-1 ve görev-2 için sırasıyla 2.76kg ve 3.24kg, azami ve asgari motor verimi sırasıyla 7.5gr/W (830gr/111W) ve 6.24gr/W (1620gr/259.74W)'tır (bk. 2.5). Motorun daha yüksek güç ağırlık veriminde çalışması, aynı miktar itki için daha az güç tüketimi ve dolayısıyla daha uzun bir uçuş süresine işaret eder. Uçuş süreleri görevler için yeterlidir.

Su Motoru Testi: Dalgıç pompa üzerinde yapılan testler Tablo 10'da verilmiştir.

Su boşaltma yüksekliği (m)	Haznenin dolma süresi (s)
1	6.3
2	7.3
3	8

Tablo 10. Dalgıç pompa test verileri.

2.8 Hava Aracı Maliyet Dağılımı

Bu bölümde Saka'nın uçuşu için temin edilen malzemelerin adet ve fiyatlarına dair bilgiler tablo halinde sunulmaktadır.

Tablo 11'de verilen adet bilgileri, test uçuşlarındaki kazalarda yaşanabilecek kırınlara karşı tedbir amaçlı temin edilen yedek parçaları da kapsamaktadır.

No	Parça Adı	Birim Fiyatı (TL)	Adet	Toplam Fiyat (TL)
1	Sunnysky X4108S KV480 Fırçasız Motor	263.24	6	1579.45
2	Hobbywing XRotor 40A Opto Drone ESC 2-6S	187.77	5	938.85
3	Pixhawk 1 + SE100 GPS M8N + XT60 Güç Modülü (Set)	1566.10	1	1566.10
4	3DR 500 mW Radyo Telemetrisi 433MHz	684.58	1	684.58
5	Raspberry Pi 4 Uyumlu RPi Camera V2	368.04	1	368.04
6	Sigorta Yuvası FULLY E331B ve Akım Kesici	118.51	1	118.51
7	Gövde (Alüminyum Aparatlar, Karbon Fiber Plaka, Boru ve Profiller)	Mevcut	1	Mevcut
8	Gens ACE 6000mAh 35C 6S1P LiPo Batarya	Mevcut	2	Mevcut
9	Flysky FS-I6X 10 Kanal Kumanda ve FS-İA10B 2.4Ghz 10 Kanal Alıcı	Mevcut	1	Mevcut
10	İmax B6 Mini Batarya Şarj Cihazı	Mevcut	1	Mevcut
11	Raspberry Pi 4	Mevcut	1	Mevcut
12	L298N Motor Sürücü Kartı	Mevcut	2	Mevcut
13	12V Mini Dalgıç Su Pompası	Mevcut	3	Mevcut
14	Su Haznesi (3D Yazıcıda Bastırıldı)	Mevcut	1	Mevcut
15	1 Çift APC Tip 13x4 Karbon Fiber Pervane	Mevcut	2	Mevcut
16	Ayarlanabilir 3A Voltaj Düşürücü Kartı - LM2596	Mevcut	2	Mevcut
17	Çift USB Çıkışlı 5V 3A Regülatör	Mevcut	2	Mevcut
Ödenen Toplam Fiyat				5255.53

Tablo 11. Hava aracı maliyet dağılımı.

Tablo 11'de listelenen bileşenlerin tercih edilmesinde malzeme kalitesi, verimlilik, hassasiyet ve ülkemizde satılıp satılmamaları etkili olmuştur. Özellikle yarışmaya hazırlık sürecinde, COVID-19 pandemisinden dolayı, önceden seçimi gerçekleştirilen bazı parçaların tedarikini sağlayan firmalar stoklarını yenileyemedikleri için bu malzemeler, yüksek fiyatlı olsalar da farklı satıcılardan temin edilmek zorunda kalınmıştır. Yurt dışından parça alımının iş akış çizelgesinde gecikmelere sebep olacağı düşünüldüğü için parçaların çoğu yurt içinden temin edilmeye çalışılmıştır.

2.9 Yerlilik

Yerlilik kapsamında çalışmamız bulunmamaktadır.